

Le nuove tecnologie in Inghilterra tra '700 e '800

di Arcangelo Rossi

Lo sviluppo economico-produttivo che va sotto il nome di rivoluzione industriale, momento del decollo economico della borghesia inglese fra '700 e '800, non è solo all'origine di una nuova tecnologia scientifica in cui si formarono concetti fondamentali della meccanica e della termodinamica. Esso stimolò anche la nascita di una nuova concezione e di una nuova organizzazione scientifica, che sostituì il newtonianismo inglese del '700 con una visione più dinamica della realtà naturale e un più organico rapporto scienza-tecnica.

Il riconoscimento del carattere sociale dell'attività scientifica e della sua rispondenza ad esigenze di sviluppo produttivo, sia direttamente sia ideologicamente, attraverso i rapporti politici, le istituzioni e le forme culturali storicamente elaborate, appare particolarmente necessario alla comprensione dello sviluppo scientifico che accompagnò o piuttosto seguì la grande svolta economico-produttiva della società inglese fra '700 e '800 che va sotto il nome di rivoluzione industriale. Leggere questo sviluppo in chiave di «logica della scienza», mirante al semplice approfondimento e alla semplice estensione della conoscenza naturale, renderebbe incomprendibile la stessa trasformazione delle strutture teoriche e dei presupposti metodologici che lo caratterizzò. La necessità del riferimento, per quanto riguarda la nascita di concetti fondamentali della meccanica e della termodinamica, all'emergenza di nuovi contesti produttivi e di nuovi livelli del rapporto uomo-natura, è stata trattata con particolare evidenza in un articolo di A. Baracca già apparso su «Sape-

re»¹. Si vogliono qui invece esaminare le caratteristiche salienti del passaggio dalla «filosofia naturale» del XVIII secolo alla nuova scienza nata con il decollo economico della borghesia fra '700 e '800, che ha segnato in Inghilterra il passaggio dal modo di produzione artigianale e domestico, ancora legato, nelle sue stesse forme più organizzate, manifatturiere, all'abilità specifica dei produttori, al modo di produzione industriale, basato invece sull'impiego di macchine che accrescono la produttività, ma non l'«abilità» del lavoro, parcellizzandolo e riducendolo anzi a forme «semplici», con conseguente proletarianizzazione dei diretti produttori².

Aspetti riflessi e concomitanti nella scienza di questo sviluppo economico-produttivo sono un sempre più esplicito riconoscimento del valore dell'innovazione tecnica come strumento di progresso conoscitivo, oltre che pratico, e il sorgere, accanto alla tradizione scientifica ufficiale, dominata dall'eredità newtoniana, di un nuovo tipo di riflessione scientifica, più adeguata e

funzionale ai nuovi contesti tecnici ora emergenti. Quelle prime forme di riflessione tecnologica interagirono quindi con quella tradizione scientifica fino al punto di porne, nel primo '800, l'esigenza del superamento, prima sul piano dei fatti indagati, dei problemi prescelti e dei metodi adottati per la loro soluzione, poi anche su quello delle istituzioni e dell'organizzazione del lavoro scientifico, da parte di una borghesia ormai completamente «arrivata». Il nuovo assetto istituzionale conserverà però in parte, almeno rispetto all'organizzazione della scienza fortemente accentrata e statalistica datasi dalla borghesia francese nel corso della rivoluzione dell'89, la varietà e ricchezza di tensioni, anche a scapito della coerenza, tipiche della borghesia inglese che aveva sviluppato la rivoluzione industriale in un quadro di rapporti economici concorrenziali e basati sulla libera iniziativa individuale.

Caratteri e crisi del newtonianismo settecentesco inglese

Lo sviluppo scientifico ufficiale inglese del '700³ è stato dominato come si accennava, dall'eredità newtoniana, coltivata in particolare nella principale istituzione scientifica inglese del secolo, la Royal Society. Già questo testimonia del carattere speculativo, di «filosofia naturale» di una scienza fatta ancora nelle accademie, senza interessi produttivi, ma con un interesse solo conoscitivo e riflesso per la tecnica, inclusa fra gli oggetti della curiosità di uno scienziato privo, nel suo lavoro, di preoccupazioni economiche dirette o riflesse, appartenendo egli per lo più al ceto aristocratico, ecclesiastico o alto-

borgnese. Tuttavia egli rispettava e apprezzava, nel nuovo ordine borghese, l'invenzione tecnica portata avanti esclusivamente dai ceti produttivi. Parallelamente, in sedi e per necessità diverse dalla scienza accademica, si andava sviluppando, specie in Scozia a partire dall'«Union Act» (atto di unione) con l'Inghilterra (1707), una riflessione tecnologica legata ad interessi prettamente produttivi e capitalistici. Questa era d'altra parte di notevole livello scientifico e aveva contatti fecondi con la stessa tradizione accademica, come testimonia in particolare la collaborazione fruttuosa fra il chimico e «filosofo naturale» J. Black e J. Watt. Ma prima di allora il newtonianismo inglese aveva avuto una serie di sviluppi che, profondamente modificando, e talora anche profondamente travisando i caratteri derivati dall'opera di Newton, l'avevano adattato progressivamente a nuove esigenze scientifiche e sociali.

Anzitutto, c'è da notare che l'aspetto di Newton sviluppato in Inghilterra era quello più «sperimentale» illustrato soprattutto dalla sua *Ottica* (1704), laddove nel continente la scienza matematica della natura trovava invece nei suoi *Principia* (1687) il modello, sia pure da superare, per realizzare un programma di razionalizzazione matematica della meccanica da cui si riprometteva la razionalizzazione complessiva della realtà. Era questa una scienza che, pur interpretando istanze di sviluppo ed emancipazione della borghesia, restava tuttavia dipendente dall'antico regime preborghese, tendendo a sublimare le esigenze di razionalizzazione, dallo sviluppo produttivo e tecnico al puro sviluppo scientifico, dalla meccanica «scienza delle macchine» alla meccanica «celeste». Questo divergente sviluppo dell'eredità di Newton corrisponde ad una diversa organizzazione della scienza in Inghilterra e nel continente: colà infatti, in una società in cui la borghesia aveva già imposto un ordine politico liberale, essa si presentava non già assalita illuministicamente da esigenze di sistematizzazione, di riforma razionalistica del sapere e della stessa realtà, ma era anzi coltivata da individui incuriositi piuttosto dai dettagli e dalla varietà della natura, e aperti all'esperienza nella molteplicità delle sue forme. Si trattava di persone che per lo più si autofinanziavano e ave-

vano rapporti liberi ed aperti con i protagonisti dello sviluppo produttivo, nell'accettazione della realtà borghese in tutti i suoi aspetti, incluso lo sviluppo tecnico. L'ispirazione principale che l'*Ottica* di Newton forniva a questi scienziati era nel senso dell'inquadramento dell'esperienza non già in equazioni della dinamica e in principi matematici generali di conservazione, come nel continente, ma in modelli «sperimentali», in cui l'esperienza stessa acquistasse senso dal punto di vista di una scienza ancora speculativa, «filosofia naturale», sulle orme delle ipotesi modellistiche largamente qualitative dell'*Ottica*⁴. Pertanto la scienza inglese si rifiutò per tutto il secolo di introdurre nel suo seno la notazione analitica leibniziana in sostituzione di quella newtoniana, nonostante la maggiore maneggevolezza e potenza logica del calcolo di Leibnitz. Inoltre essa accettò in generale il punto di vista newtoniano secondo cui il moto complessivo, la «forza» in un universo composto di atomi assolutamente duri e anelastici non si conserva: non è quindi possibile formulare l'intera scienza in termini matematici di conservazione del moto o della «forza», mentre il «miracolo», come lo chiamava polemicamente Leibnitz, della sussistenza del mondo una volta negata la conservazione della forza, era spiegato da Newton o con l'appello all'intervento diretto di Dio, o con la proposta di modelli di etere elastico che conserva-

se con la repulsione il moto nell'universo. L'interesse della scienza inglese del '700, ferme restando le permanenti spiegazioni teologiche (segno del compromesso delle forze laiche della borghesia con la chiesa anglicana), ma sempre più sullo «sfondo» della scienza naturale, era soprattutto per i modelli. I primi, in termini dinamico-corpuscolari, usano ancora la matematica di Newton per descrivere le azioni fisiche come azioni a distanza, sull'esempio di quelle gravitazionali, fra corpuscoli atomici caratterizzati soltanto da dimensioni, posizione e momento: conservano ancora qualcosa dell'aristocraticismo intellettuale di Newton volto all'astrazione matematica. Poi però, a metà del secolo, l'attenzione fu rivolta maggiormente al momento sperimentale, accompagnandosi a ciò una nuova fortuna dell'empirismo di Bacon⁵. In questo momento la valorizzazione della tecnica raggiunse un nuovo, più alto livello, anche a scapito dell'ortodossia newtoniana. Fu allora accettata ufficialmente dalla Royal Society nel 1759 la confutazione della teoria newtoniana della dispersione cromatica, e dunque dell'impossibilità di costruire telescopi a rifrazione troppo potenti che non deformassero la visione, da parte di un semplice occhialaio di Londra, John Dollond, che mostrò sperimentalmente la possibilità di ridurre la dispersione usando vetri con diverso indice di rifrazione. Intanto si sviluppavano modelli, anch'essi di derivazione newto-



Fig. 1 Una lezione sperimentale alla Royal Institution.

niana, non più di azione a grande distanza ravvicinata (non proprio a contatto, come nella vecchia cinematica corpuscolare cartesiana, perché la repulsione elastica a distanza ravvicinata pareva ormai indispensabile a conservare il moto e la « forza »). Essi escludevano leggi matematiche di azione, riducendo i fenomeni naturali all'azione di fluidi « imponderabili » perché non rilevabili mediante bilancia, inosservabili come l'etere meccanico e luminoso, il calorico, il flogisto. Perché tale cambiamento? Sono state fornite spiegazioni in termini di « storia interna », cioè di fallimento dei modelli del precedente tipo, nei casi ad esempio della capillarità e dell'elasticità dell'aria. Ma queste motivazioni « interne » coincidono con motivazioni « esterne », con l'accresciuto peso sociale degli artigiani e dei tecnici nella società inglese, di una cultura meno aristocratica e più popolare. Questa nuova fase del newtonianismo, assai feconda per la scienza empirica, battezzata « materialistica » per contrapporla al meccanicismo più astratto della prima, si sviluppò non a caso in un ambiente diverso, non più quello delle università inglesi e della Royal Society, ma quello soprattutto delle nuove università scozzesi, dove più viva era l'attenzione allo sviluppo produttivo. J. Black (1728-1799) maestro di Watt a Glasgow, fu uno dei maggiori protagonisti della fase, interpretando i fenomeni termici come fenomeni di interazione fra fluido calorico e materia. Altro protagonista ne fu B. Franklin (1706-1790) che enunciò tra l'altro il principio di conservazione della carica in termini di indistruttibilità del fluido elettrico, di cui non forniva alcun mezzo di determinazione quantitativa, matematica, non essendo chiaro quale fosse il limite di saturazione della materia da parte di esso, al disotto del quale sarebbe carica negativamente e al disopra positivamente. L'ultima fase della scienza newtoniana inglese del '700 fu infine meccanicistica, e riprese la matematica nel tentativo di ridefinire i molteplici contributi dell'approccio fluidico in termini più astratti, unitari e semplificati. Non a caso tale tendenza più astratta ha di nuovo corso nelle università inglesi e nella Royal Society. In particolare Lord H. Cavendish (1731-1810) cercò di ridurre ad azioni a distanza

mediante l'analisi di Newton il fluido elettrico di Franklin e di sostituire al calorico il moto degli atomi come causa del calore. Si affermava con Cavendish un livello di precisione sperimentale ignoto ai primi meccanicisti, portato dello sviluppo della tecnica di precisione nel corso della rivoluzione industriale, ma in contrasto con l'impostazione newtoniana settecentesca cui egli aderiva. Ad esempio, per lui fra i corpuscoli esistono sempre forze a distanza che rendono inattuabile il programma di interpretazione delle perdite apparenti di « momento meccanico » ($m \cdot v^2$) in termini di aumento di calore come moto di particelle, che pure tentò, anticipando in parte la teoria cinetica dell'800. D'altra parte, con esperimenti mediante condensatori sferici riuscì ad accertare prima di Coulomb la legge di azione elettrostatica, ma non a generalizzarla alla magnetostatica, per il suo riferimento a modelli intuitivi specifici per i diversi tipi di fenomeni. In conclusione, Cavendish non pubblicò i suoi scritti, perché ne considerava insoddisfacenti gli esiti, limitati in realtà dai presupposti newtoniani, mentre furono subito noti i suoi contributi più propriamente sperimentali, la misura della densità della terra e della costante di gravitazione universale mediante la bilancia di torsione, e le tabelle relative degli errori sperimentali, che portavano la filosofia naturale newtoniana in cui si inquadravano al più alto livello di precisione e di finezza metodologica.

La nuova tecnologia e la scienza ufficiale

Il rapporto fra la scienza ufficiale e la nuova tecnologia scientifica nata nel vivo della rivoluzione industriale, per i cui caratteri e sviluppi si rinvia all'articolo di A. Baracca¹, fu dunque nel senso di una svolta decisiva nella concezione e nella prassi scientifiche. Anzitutto lo studio delle macchine idrauliche per migliorarne il rendimento, e dunque soprattutto per esigenze economiche, condotto da Smeaton, suscitò dibattito nella stessa scienza accademica, alla Royal Society dove le memorie di Smeaton furono lette⁶. Smeaton infatti, distaccandosi in ciò da Newton, non considerava, programmaticamente, il caso dei corpi assolutamente duri e

anelastici dell'atomismo metafisico newtoniano, ma solo le perdite visibili di moto in condizioni sperimentalmente controllabili allo scopo di ridurle al massimo, ottenendo il migliore effetto possibile avendo a che fare sempre, nelle macchine studiate, con corpi, come l'acqua, non durissimi e di elasticità variabile, e attribuendo le perdite di moto al lavoro compiuto per deformarli. Questo punto di vista fenomenologico lo portava tra l'altro a privilegiare la formula $m \cdot v^2$ rispetto a quella $m \cdot v$, essendo la prima omogenea agli spostamenti spaziali che entrano nella definizione del lavoro delle macchine, e la seconda invece al tempo di impiego, non rilevante nel calcolo del rendimento. Proseguendo su questa via, Watt applicò il calcolo del rendimento anche a macchine che non erano quelle studiate dalla meccanica tradizionale, per cui poteva andar bene ancora, con qualche aggiustamento, anche la meccanica di Newton, ma alle nuove macchine a vapore. Per questo Watt utilizzò anche la chimica del calorico il cui grande sistematore era stato J. Black. Era infatti particolarmente evidente in queste macchine il nesso fra lavoro meccanico e calore, per cui l'esame delle possibilità di ridurre lo spreco di forza andava oltre gli urti, le deformazioni, gli spostamenti meccanici, per investire il comportamento termico delle sostanze materiali coinvolte nel funzionamento delle macchine. Infatti ridurre al minimo di cambiamenti di vapore in acqua e viceversa significava ridurre il lavoro speso sotto forma di calore in quei cambiamenti, a discapito del rendimento della macchina. Era dunque utile precisare il concetto di calore rispetto a quello di temperature, di calore specifico e di calore latente che Black aveva sviluppato da un punto di vista filosofico-naturale nella sua teoria del calorico⁷. Watt riusciva così, pur non enunciandolo esplicitamente, a porre il principio di conservazione dell'energia alla base del suo lavoro, stabilendo finalmente un corrispettivo, non equivoco come la « deformazione » negli urti anelastici di Smeaton, delle perdite apparenti di energia in termini, tra l'altro misurabili, di calore disperso. E' interessante considerare che fosse la chimica a fornire solide basi all'approccio di Watt, se si pensa che essa svolse nella rivoluzione industriale in genere

un ruolo fondamentale, essendo allora l'industria di punta, oltre a quella estrattiva, l'industria tessile, che necessitava il continuo impiego di procedimenti chimici. Nel caso della chimica la « filosofia naturale » ufficiale sembrava non limitarsi a seguire, ma anche aiutare e stimolare la tecnica. Lo studio delle affinità chimiche come interazioni fluidi-sostanze materiali secondo l'impostazione sperimentalistica del materialismo si legava infatti a esperimenti e procedimenti in uso nell'industria. A Watt si deve in particolare la diffusione del metodo chimico di candeggio di Berthollet indispensabile per rendere commerciabili certi tessuti, mentre lo stesso Black, con il maestro Cullen, approntò metodi per usare a tale scopo l'acido solforico, come poi Watt studiò la composizione del sale per estrarvi la soda.

Quest'impostazione tecnologica della chimica sulla base di un materialismo intuitivo non ha comunque punti di contatto con quella chimica atomistica di J. Dalton (1766-1844, non a caso di formazione fisico) che si limitava invece ad aggiornare l'atomismo newtoniano a contatto con i nuovi dati della chimica industriale ed empirica e con le istanze di razionalizzazione matematica poste da Lavoisier⁸.

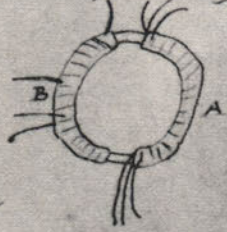
La nascita della nuova scienza

Chi finalmente avanzò proposte organizzative, di finalità e contenuti nuovi da dare alla scienza, non solo parallelamente, come gli ingegneri e i chimici industriali, ma anche all'interno della tradizione scientifica ufficiale, fu B. Thompson, poi conte Rumford (1753-1814). Americano e di umili origini, le sue eccezionali doti intellettuali e pratiche, diplomatiche e di affarismo, unite ad un'assoluta mancanza di scrupoli, gli permisero una brillantissima carriera in tutti i campi⁹. Il suo interesse scientifico predominante fu subito la chimica, strumento insieme di conoscenza e di potere. Mentre le ricerche sull'inchiostro simpatico lo misero in luce già durante la rivoluzione americana, quando faceva la spia per gli Inglesi, gli studi sulla polvere da sparo gli fruttarono, in un'epoca fitta di vicende belliche, l'ammissione alla Royal Society. Rumford si dedicò quindi intensamente soprattutto alla ter-

mologia, legata per lui a pressanti interessi pratici. In particolare, si trattava di avere tessuti economici, a scarsa dispersione di calore, per i soldati dell'Elettore di Baviera, di cui egli era divenuto, per la sua abilità manovriera, ministro della guerra, e questo lo portò a studiare la conduzione del calore, oltre che a perfezionare le tecniche di misura. Ma soprattutto i fenomeni di attrito nell'alesatura dei cannoni, come in altri esperimenti meccanici, con cui era a quotidiano contatto, mettevano in tale evidenza fenomeni termici da suscitare in Rumford il desiderio di determinare il nesso fra i processi meccanici in esame e la produzione di calore, da cui trasse conclusioni generalissime. Formulò infatti una vera e propria nuova concezione del mondo fisico da cui non fu tuttavia egli a trarre le precise implicazioni scientifiche: il calore è moto puro e semplice, è inutile pensare a fluidi o a strutture atomiche particolari, come facevano i newtoniani settecenteschi, quando l'esperienza ne suggerisce semplicemente la natura di movimento trasformato. In conformità al suo punto di vista dinamico-fenomenistico, appena abbozzato e privo di trattazione matematica, ma coerente con il vistoso dinamismo della rivoluzione industriale, Rumford suggerì inoltre un nuovo quadro organizzativo della scienza, più adeguato, al nuovo sviluppo, del vecchio club di aristocratici sostanzialmente perdisgiorno cui si era ridotta la Royal Society. Nacque così nel 1799 la Royal Institution, che aveva per scopo di contribuire allo sviluppo sociale attraverso la scienza, aiutando anche i tecnici a formarsi professionalmente. Si trattava di un programma il cui fine era comunque accrescere la produttività del sistema economico con cui Rumford si identificava non per generico amore per il prossimo ma per tornaconto personale. Ma i tempi non erano ancora maturi: la tecnica era ancora una faccenda di individui ingegnosi, per lo più artigiani e imprenditori, e lo stesso Watt si oppose per ragioni economiche, per tutelare cioè il suo brevetto, a che i propri modelli fossero esposti in pubblico alla Royal Institutione come Rumford voleva. La libera iniziativa individuale in campo scientifico come in quello tecnico cozzava con le ambizioni organizzative di Rumford. L'alta società

inglese non volle finanziarlo, e il suo successore alla guida della Royal Institution, Humphry Davy (1778-1829) pensò bene di mutar registro. La nuova scienza, non organizzata in modo troppo ferreo, doveva essere oggetto di diletto oltre che di utilità. Davy si rivolse al gran mondo con i toni un po' letterari del brillante divulgatore padrone della materia, che puntava sul senso di sorpresa che le novità scientifiche potevano suscitare sulla buona società annoiata, specie femminile su cui egli esercitava il fascino del dandy, oltre che sulla loro utilità sociale e produttiva¹⁰. Proseguendo sulla linea dello stretto legame scienza-tecnica stabilito da Rumford, al difuori del meccanicismo newtoniano e ancora senza una trattazione matematica, ma ad un livello di precisione sperimentale molto alto, egli basò molta parte della sua attività scientifica sulla scoperta della corrente elettrica, presentata in termini puramente fenomenologici da A. Volta nella lettera del 1800 a J. Banks, presidente della Royal Society. Si trattava di un nuovo campo della fisica. E' sintomatico però che se ne vedesse invece subito in Inghilterra, come da parte di Davy, l'aspetto chimico, come strumento per penetrare più a fondo nelle trasformazioni chimiche della materia. Al di là dei fluidi imponderabili, o del contatto bimetallico come causa della corrente secondo Volta, se ne vide cioè l'aspetto di forza motrice e strumento per reazioni fra sostanze chimiche. A premessa di tale impostazione vi era stata comunque fra gli esponenti più avanzati della scienza accademica l'affermazione di un punto di vista, nuovo rispetto alla tradizione modellistica newtoniana, che poneva l'accento sugli aspetti dinamici e fenomenistici della scienza, contro ipotesi ontologiche atomistiche o fluidiche¹¹. Si era affermato infatti in Inghilterra il punto di vista del gesuita Ruggero Boscovic (1711-1787), con cui il superamento del newtonianismo parve incompleto. Boscovic proponeva, in linea con il razionalismo della meccanica razionale continentale, di sostituire agli atomi dell'*Ottica* di Newton, causa della perdita del moto nell'universo, i meri centri inestesi delle forze, disposte attorno ad essi secondo sfere di azione alternativamente attrattive e repulsive. Ogni impatto diveniva in tal modo un processo almeno parzialmente elastico,

Aug 29th 1831
 Expts on the production of Electricity from Magnets etc
 Have had an iron ring made (soft iron) was round ^{4 1/2} inches
 thick of ring 6 inches in external diameter Wound many
 coils of copper wire round one half the coils being separated
 by thin pieces - there were 3 lengths of wire each about 24
 feet long and they could be connected as one length or used
 as separate lengths by treat with a triangle each was
 insulated from the other Will call this side of the Ring
 A on the other side but separated by an
 interval was wound wire in two pieces
 together amounting to about 60 feet in
 length the distance being as with the former
 coils this side call B.



Changed a battery of 10 p^l plates benches again made
 the coil on B side one coil and connected its extremities by
 a copper wire passing to distance and just over a magnetic
 needle (3 feet from wire ring) then connected the ends of one of the
 pieces on A side with battery immediately a sensible effect in motion
 of needle of with at last in original position on breaking
 connection of A side with Battery again a disturbance
 of the needle

Fig. 2 La pagina del diario di Faraday che descrive l'esperimento dell'anello di induzione.

dato che la prima sfera, la più vicina al centro inesteso, quella della repulsione, induceva i corpi che si urtavano gradualmente a respingersi e a conservare così (almeno in parte) il loro moto. Boscovic riduceva così la materia alle sue manifestazioni dinamiche, concepite come tratti della curva di forze continua emanante dal centro inesteso, e identiche ai fenomeni osservabili. In Inghilterra comunque, anteriormente all'introduzione dei metodi analitico-matematici della scienza continentale, fu accolto di Boscovic, non l'aspetto matematico-relazionale idealistico, ma quello dinamistico e fenomenistico. La concezione boscoviciana fu interpretata infatti come dissoluzione della materia in

forze attrattive e repulsive, non necessariamente secondo una curva con regolarità analitico-geometriche, ma secondo le manifestazioni fenomeniche. Alla concezione di Boscovic aderì in particolare J. Priestley (1733-1804) ecclesiastico, ma anticonformista in religione come in politica (sostenne la rivoluzione francese, anche con danno personale), negli ultimi anni della vita, dopo essere stato, come dimostrò la sua polemica con Lavoisier in difesa del flogisto⁴, materialista e meccanicista. La maggiore fortuna fra i chimici (come Nicholson e Davy) piuttosto che fra i fisici (come Hutton e Young che la presero in considerazione, ma la respinsero) della concezione conservazio-

nista e dinamistica di Boscovic¹², ci riporta alle esigenze esplicative di quei tecnologi che, come nel caso di Watt, trovavano nei chimici, all'interno della scienza ufficiale, i più validi e interessati interlocutori. Davy, uomo del suo tempo, ricavò inoltre diversi stimoli dalla filosofia della natura romantica che sosteneva ugualmente che tutto è forza, e la trasformazione incessante delle forze fra loro¹¹ secondo una prospettiva evolucionistica rilevata assai feconda per la biologia, e tipica del decollo industriale della borghesia, cui egli dava intanto sul piano pratico il contributo della famosa lampada di sicurezza per le miniere, di cui era molto fiero. Il punto in cui cominciò ad accogliere il punto di vista di Boscovic fu la polemica con la chimica di Lavoisier e di Dalton. Contro l'uno concepì l'elettrolisi dell'acqua non come un semplice processo meccanico di separazione dell'idrogeno e dell'ossigeno, ma come un processo di trasformazione del pattern di forze delle molecole di acqua, a causa della corrente elettrica; e inoltre, scomponendo l'acido cloridrico in cloro e idrogeno, mostrò che l'ossigeno non è il fondamento dell'acidità. Contro l'altro mostrò l'insufficienza delle pure forze gravitazionali fra gli atomi, per spiegare ad esempio la differenza fra carbone e diamante nonostante la composizione chimica identica, e la necessità di riferirsi quindi a pattern stereospecifici di forze intorno agli atomi, che, a seconda delle direzioni e delle distanze reciproche, danno effetti diversi. Infine Davy abbandonò del tutto gli atomi per i centri di forza¹³. Analoga fu l'evoluzione dell'allievo M. Faraday (1791- 1867) fino agli anni '50, quando, dopo aver esteso creativamente anche alla fisica, con la creazione del concetto di campo, il punto di vista boscoviciano, eliminò dalle sue « linee di forza » anche il riferimento ai centri atomici inestesi di Boscovic. Anche Faraday improntò di sé la Royal Institution, che fu chiamato dopo Davy a dirigere. Del tutto privo di formazione matematica, sia quella tradizionale, inservibile, sia quella di tipo nuovo che ebbero Kelvin, Maxwell, Hamilton, Green, Stokes, dopo la riforma degli studi matematici in Inghilterra in seguito alla introduzione della notazione leibniziana nel 1812 a Cambridge, egli trasformò l'Istituto dal salotto scienti-

fico di Davy in un serio laboratorio sperimentale, guidato da forti idee teoriche. Faraday ipotizzò infatti modelli fisici anche matematicamente, oltre che sperimentalmente, estremamente fecondi, ma la cui matematicizzazione non sarebbe stata troppo facile. Dopo aver iniziato, sotto la guida di Davy, ricerche di elettrochimica, perfezionò all'inizio degli anni '30, sviluppando l'opera di H. C. Oersted, fisico e filosofo romantico allievo di Schelling, la prima concezione di campo, per cui le interazioni fra magneti e circuiti vennero considerate stati di tensione, secondo linee di forza, delle particelle materiali, indotti in particolare dal moto dei magneti che creano così addirittura passaggi di corrente. « La conoscenza diveniva così di fatto produttrice di potenza »⁸, ponendo le premesse, già nella prima fase, « termodinamica », della rivoluzione industriale, della seconda fase, « elettromagnetica », del secondo ottocento. L'opera di Faraday proseguì quindi nel senso della piena esplicitazione dei suoi presupposti dinamistici ed energetici, con l'abbandono, prima, dell'atomismo residuo per i centri inestesi di forza che congiungono fra loro le linee, poi addirittura di questa stessa idea di Bosovic per affermare la priorità assoluta delle linee di forza interagenti nello spazio vuoto, di cui la materia non sarebbe che una modificazione dinamica¹². Prevedevano intanto nuove esigenze di organizzazione, e di precisazione in senso analitico matematico del linguaggio della scienza, che ne consentissero anche applicazioni tecniche più rigorose e sistematiche. Il carattere individualistico e dilettantistico della scienza inglese, comune alla stessa Royal Institution, troppo dipendente dalla fortuna e dalla personalità variabili dei suoi direttori, fu indicato come causa del suo declino dal famoso matematico C. Babbage (1792-1871)¹⁴. Egli pensava in sostanza che fosse necessario ammodernare le strutture scientifiche oltre che politiche (fu sostenitore nel 1831 di una riforma parlamentare) inglesi, sull'esempio della Francia dopo la rivoluzione dell'89. Nacque così nel 1831 la *British Association for the Advancement of Science*, che contemplava i vari punti di vista, incluso quello, più conservatore, di Faraday¹³. Ferma restando l'iniziativa individuale, l'esigenza della specializzazione matema-

tica oltre che sperimentale era ormai per tutti fuori discussione, mentre la stessa Royal Society subiva una drastica riforma nel senso di un criterio più serio di ammissione dei membri, basato non più tanto sul titolo nobiliare, quanto sul lavoro scientifico. Nel nuovo contesto si svilupparono, accanto a più alti livelli di precisione sperimentale, nuovi potenti strumenti analitici, segno del completo abbandono del newtonianesimo settecentesco: oltre al concetto di campo, sempre più matematicizzato, con un parziale ritorno ai concetti bosoviciani di polarità e di centro di forza, la meccanica statistica, con i suoi atomi elastici secondo il punto di vista della conservazione dell'energia, e la trattazione cinetica dei fenomeni termodinamici. Testardamente intanto Faraday, che pure mostrava di apprezzare i primi tentativi di matematicizzazione delle sue idee da parte di Kelvin e Maxwell, ma si dichiarava incompetente a giudicarli¹³, portava avanti le sue ricerche, spesso incomprese, proprie di una scienza che, nata pionieristicamente nella rivoluzione industriale, aveva vissuto intensamente la crisi del newtonianesimo settecentesco, espressione di una realtà anteriore alla rivoluzione industriale e alla nascita delle prime forme di tecnologia scientifica. Essa ne aveva quindi formulato, nel vivo dello sviluppo economico e ideologico della borghesia inglese del tempo, le prime proposte positive di superamento, certamente senza il rigore dei nuovi strumenti matematici usati dalla generazione successiva (che del resto cercò almeno in parte di conservarne il patrimonio), ma con una spregiudicatezza intellettuale e un'unità creativa di momento teorico e momento pratico forse superiori.

NOTE E BIBLIOGRAFIA

¹ Baracca A., *I concetti di lavoro ed energia nell'Inghilterra del XVII secolo*, Sapere, luglio 1974.

² Sul ruolo del macchinismo, in generale e nella rivoluzione industriale in particolare, come strumento di espropriazione capitalistica dei diretti produttori, cfr. Marx K., *Il capitale*, libro I, capitolo XIII (*Macchine e grande industria*), Editori Riuniti, Roma 1970, e *Lineamenti fondamentali della critica dell'economia politica*, volume II, *Frammento sulle macchine*, La nuova Italia, Firenze 1970. *Salario, prezzo e profitto* di Marx K., Editori Riuniti, Roma 1971, resta l'esposizione

più efficace e sintetica del meccanismo di sviluppo economico capitalistico basato su quell'espropriazione.

³ Per tutto questo paragrafo si rimanda a Rossi A., *Illuminismo e sperimentalismo nella fisica del '700*, Sapere, ottobre 1971.

⁴ Schofield R., *Mechanism and Materialism, British Natural Philosophy in an Age of Reason*, University Press, Princeton 1970.

⁵ Ivi, p. 94.

⁶ Scott W.L., *The Conflict between Atomism and Conservation Theory 1644 to 1860*, Londra-New York 1970.

⁷ Cardwell D.S.L., *From Watt to Clausius*, Heinemann, Londra 1971, dove si nega in base ad una ricca documentazione, che vi sia stata influenza diretta di Black su Watt in proposito. Vi sarebbe stata una convergenza fra i due solo dopo che ciascuno ebbe elaborato la sua teoria e fatti i suoi calcoli: un esempio di « scoperta simultanea », dovuta al fatto che un certo problema era giunto ormai socialmente a maturazione. Altro esempio è quello della conservazione dell'energia, « scoperta » più o meno chiaramente in innumerevoli posti e ambienti scientifici diversi nel primo ottocento: cfr. Kuhn T.S., *Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery*, in Clagett M. (ed.) *Critical Problems in the History of Science*, University Press, Madison 1969.

⁸ Sul divario fra atomismo e chimica industriale, cfr. AA.VV., *Storia del mondo moderno*, volume IX, capitolo V di Scienza e Tecnica, Milano 1969.

⁹ Brown S.C., *Il conte Rumford, un avventuriero scienziato*, Zanichelli, Bologna 1968.

¹⁰ Jones H.B., *The Royal Institution: Its Founders and Its First Professors*, Londra 1871.

¹¹ Pearce Williams L., *The Origins of the Field Theory*, Random House, New York 1965.

¹² Heimann P.M., *Faraday's Theories of Matter and Electricity*, The British Journal for the History of Science, 5, 19, 1971.

¹³ Pearce Williams L., *Michael Faraday*, Chapman Hall, Londra 1965.

¹⁴ Babbage C., *Reflections on the Decline of Science in England and some of its Causes*, Londra 1830.

GUIDA BIBLIOGRAFICA ESSENZIALE

Per la rivoluzione industriale nei suoi diversi aspetti, c'è da aggiungere alle numerose indicazioni fornite la traduzione italiana di Musson A.E. e Robinson E., *Scienza e tecnologia nella rivoluzione industriale*. Il Mulino, Bologna 1974; Ashton T.S., *La rivoluzione industriale*, Laterza, Bari 1969 e Mantoux P., *La rivoluzione industriale*, Editori Riuniti, Roma 1971. Quanto allo sviluppo dello standard di precisione nella scienza dell'epoca, cfr. anche Daumas M., *Les Instruments Scientifiques aux XVII et XVIII Siècles*, Parigi 1953.

Sullo sviluppo del punto di vista di Bosovic nella scienza dell'800 cfr. Jammer M., *Storia del concetto di forza*, Feltrinelli, Milano 1971.

L'argomento del II e di parte del III e del IV paragrafo di questo articolo è stato trattato, con qualche dettaglio in più, oltre che in Sapere, anche in Rossi A., *Fisica francese e fisica inglese nella scienza del 1700*, parte I e II, in corso di pubblicazione su Scientia.